



ISSN: 1984-3151

APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO CELULAR NA ÁREA URBANA DE CONSELHEIRO LAFAIETE

APPLICATION AND EVALUATION OF MODELS FOR CELL PREDICTION IN THE URBAN AREA OF THE CITY OF CONSELHEIRO LAFAIETE

Ygor Bruno Fernandes da Silva¹; Paulo Tibúrcio Pereira²

- 1 Bacharel em Engenharia de Telecomunicações. Universidade Federal de São João Del Rei, 2013. Ouro Branco, MG. Mauser. Belo Horizonte, MG. vgorb@msn.com.
- 2 Doutor em Engenharia. PUC Minas, 2012. Professor da Universidade Federal de São João Del Rei. Ouro Branco, MG. paulotiburcio@ig.com.br.

Recebido em: 24/03/2014 - Aprovado em: 30/04/2014 - Disponibilizado em: 31/05/2014

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo de predição celular na área urbana da cidade de Conselheiro Lafaiete. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de predição de sinais de radiofrequência utilizando métodos computacionais para estimar níveis dos sinais e realizar medições em campo a fim de analisar e comparar os resultados. Primeiramente foi escolhida uma BTS (Estação Transceptora Base) na cidade de Conselheiro Lafaiete. Níveis de sinal foram obtidos na região de cobertura da referida estação e através dos parâmetros de transmissão da estação foram obtidos valores de recepção em diversos pontos da região de estudo, utilizando modelos de propagação implementados computacionalmente. Os níveis de sinal obtidos através das simulações foram comparados com as medições realizadas na área de cobertura da BTS e os resultados são apresentados a fim de mostrar a aproximação entre os modelos semi-empíricos e as medições realizadas em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos de propagação. Estação Transceptora Base. Predição de cobertura.

ABSTRACT: This paper presents a study of cell prediction in the urban area of the city of Conselheiro Lafaiete. The aim of this paper is to perform a study of predicting radio frequency signals using computational methods to estimate signal levels and perform field measurements to analyze and compare the results. First, a BTS (Base Transceiver Station) in the city of Conselheiro Lafaiete was chosen. Signal levels were obtained in that particular station's coverage area and through the transmission parameters of the station it was possible to obtain the values in which they were received in various parts of the study area using propagation models implemented computationally. Signal levels obtained from the simulations were compared with measurements made in the coverage area of BTS and the results are presented to show the approach between semi empirical models and measurements made in the field.

KEYWORDS: Propagation models. Base Transceiver Station. Prediction coverage.

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Conselheiro Lafaiete está localizada na Macro região metropolitana de Belo Horizonte entre a Zona Metalúrgica e Campo das Vertentes, a 96 km da capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte. Localiza-se dentro da região do antigo Queluz de

Minas, atualmente, o Alto Paraopeba, onde ficam também as cidades de Belo Vale, Congonhas, Ouro Branco, Entre Rios de Minas, Jeceaba e São Brás do Suaçuí. A cidade possui relevo montanhoso e sua população estimada no ano de 2012 era de

118.578 habitantes (CONSELHEIRO LAFAIETE, 2013).

O crescimento contínuo da demanda de serviços de telefonia móvel tem despertado o interesse de pesquisadores e profissionais da área em entender e prever as características do sinal de rádio. Além disso, devido à grande quantidade de antenas implantadas, as interferências comprometem a capacidade de expansão. Juntando-se a isso, obstruções físicas muitas vezes impedem o atendimento das demandas em alguns locais (YACOUB, 1993). Desse modo a predição é de extrema importância para o planejamento de sistemas celulares.

Para o planejamento de áreas de cobertura dos sistemas celulares é necessário a estimativa dos níveis de sinal das estações de interesse, além das zonas onde o sinal é mínimo e daquelas onde podem ocorrer interferências. Para isso são utilizados modelos de propagação para a estimativa do sinal. Estes simulam variados ambientes, sendo cada modelo utilizado para diferentes frequências e parâmetros, pois não existe um modelo genérico aplicável a todas as faixas de frequência e tipos de ambiente.

A abordagem do problema da estimação do sinal não pode ser feita de modo exclusivamente determinístico. A estimação correta do sinal e o desenvolvimento de modelos para o efeito implicam no conhecimento dos fatores mais importantes que influenciam a propagação em comunicações.

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo da predição de sinais de radiofrequência na área urbana da cidade de Conselheiro Lafaiete utilizando métodos computacionais para estimar os níveis dos sinais e realizar medições em campo a fim de analisar e comparar os resultados.

2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Os modelos de propagação se baseiam na previsão do sinal e envolvem a estimativa do valor mediano e da variação em torno deste, isto é, deve-se conhecer a estatística do sinal para determinar sua variação. Os modelos são usados para o planejamento e cobertura eficiente do sinal de RF (radiofrequência), visando posicionar corretamente antenas e estabelecer a potência apropriada de transmissão para minimizar interferências e áreas de sombra sem perder a qualidade do sinal (PEREIRA, 2007).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Segundo Pereira (2007), os modelos de propagação são divididos em:

Empíricos: são baseados em medidas e conduzem a relações simples entre a atenuação e a distância. São sujeitos à validação em locais, frequências e condições diferentes dos ambientes de medida.

Teóricos: requerem a utilização de bases de dados topográficos. Os modelos teóricos não contabilizam todos os fatores e não consideram os ambientes em que o móvel se desloca. Permitem uma fácil alteração para outros valores dos parâmetros e dependem da definição de bases de dados geográficas.

Os modelos semi-empíricos são os modelos de propagação mais utilizados para a implantação de sistemas de cobertura. Esses modelos utilizam as perspectivas empíricas e teóricas, possuindo assim flexibilidade para que medidas reais realizadas no ambiente de propagação possam ser incorporadas ao modelo, minimizando o erro entre estimativa do sinal previsto e a realidade.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AMBIENTES DE PROPAGAÇÃO

A classificação dos ambientes de propagação considera fatores como: ondulação do terreno, densidade da vegetação, densidade e altura dos edifícios, existência de áreas abertas e existência de superfícies aquáticas.

Quando modelos são aplicados com uma componente empírica, é usual distinguir os ambientes de propagação em três categorias: Rural, Suburbana e Urbana (RAPPAPORT, 2002).

As informações que caracterizam a superfície do terreno como água, vegetação, casas, parques, avenidas, etc. são obtidas através da base de dados morfológica de cada região. A morfologia do terreno tem grande influência na perda de propagação do sinal na faixa de frequências acima de 800 MHz, sendo utilizada por vários modelos no cálculo da perda de propagação (MIYOSHI; SANCHES, 2008).

2.3 DETALHES DOS MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Foram desenvolvidos alguns métodos práticos de previsão que levam a um resultado próximo dos valores reais. Alguns desses procedimentos estão detalhados a seguir, sendo que os modelos apresentados tratarão apenas de ambientes *outdoor*, pois neste trabalho serão realizadas simulações com dados reais que não são baseados em ambientes *indoor*.

2.3.1 MODELO OKUMURA-HATA

Em 1968, Okumura propôs um modelo empírico que atualmente serve de padrão para medições na banda de 150 a 2000 MHz. O trabalho de Okumura apresenta os resultados em forma de curvas, então Hata desenvolveu o seu modelo ajustando equações matemáticas aos resultados gráficos, obtidos por

Okumura. O modelo de Hata utiliza a morfologia sem detalhamento, levando em consideração características morfológicas para diferentes ambientes de propagação. A atenuação de propagação segundo Hata é dada por (PEREIRA, 2007) e (OKUMURA *et al.*, 1968):

$$L = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (1)$$

Em que L é o valor médio da perda de propagação para a área urbana [dB], f é a frequência de trabalho [MHz], h_{te} é a altura efetiva da antena transmissora [m], h_{re} é altura efetiva da antena receptora [m], d é a distância entre transmissor e receptor [m] e $a(h_{re})$ é o fator de correção da altura efetiva da antena receptora [dB]. $a(h_{re})$ pode ser obtido da seguinte maneira (OKUMURA *et al.*, 1968):

Para áreas urbanas:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log(f) - 0,7) h_{re} - (1,56(f) - 0,8) \quad (2)$$

Para áreas urbanas densas e $f \leq 300$ MHz:

$$a(h_{re}) = 8,29 (\log(1,54 h_{re}))^2 - 1,1 h_{re} \quad (3)$$

Para áreas urbanas densas e $f > 300$ MHz:

$$a(h_{re}) = 3,2 (\log(11,75 h_{re}))^2 - 4,97 h_{re} \quad (4)$$

O valor médio da perda de propagação para a área suburbana é expresso por:

$$L = L(\text{áreas urbanas}) - 2(\log(f / 28))^2 - 5,4 \text{ [dB]} \quad (5)$$

O valor médio da perda de propagação para áreas rurais abertas é expresso por:

$$L = L(\text{áreas urbanas}) - 4,73 (\log(f))^2 - 18,33 \log(f) - 40,98 \text{ [dB]} \quad (6)$$

O modelo Okumura-Hata foi muito utilizado em redes celulares na banda de 800 MHz / 900 MHz. Como outras redes começam a operar em 1800 MHz / 1900 MHz, este modelo foi modificado pela Européia COST (European Cooperation in Science and Technology), para se adaptar a estas novas faixas de frequência,

sendo muitas vezes referido como o Modelo COST-231 Hata.

2.3.2 MODELO WALFISCH-IKEGAMI

A partir dos modelos de Walfisch-Bertoni e de Ikegami o comitê de pesquisas europeu COST (WALFISH; BERTONI, 1988) desenvolveu o modelo COST 231, utilizado na faixa de frequências entre 800 e 2000 MHz para propagação em ambientes urbanos. O modelo Walfisch-Ikegami leva em consideração a morfologia detalhada do terreno, como altura de prédios, distância entre prédios, largura média e orientação das ruas em relação ao sentido de propagação das ondas.

A grande inovação do modelo do Walfisch-Ikegami está relacionada com a consideração de fenômenos de propagação, quando existe linha de visada entre a estação-base e o móvel na direção de uma rua cercada por edifícios, diferentemente da propagação em espaço livre (PEREIRA, 2007).

O valor médio da perda de propagação para o modelo Walfisch-Ikegami é expresso por (WALFISH; BERTONI, 1988) e (IKEGAMI; YOSHIDA, 1980):

$$\text{Para } d < 20 \text{ metros:} \\ L_T = L_0 \quad (7)$$

$$\text{Em que } L_0 = 32,44 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (8)$$

$$\text{Para } d \geq 20 \text{ metros:} \\ L_T = 42,6 + 26\log(d) + 20\log(f) \quad (9)$$

Em que L_T é a atenuação total [dB], L_0 é a atenuação no espaço livre [dB], d é distância entre transmissor e receptor [km] e f é a frequência [MHz].

Para o caso de não visibilidade, tal como no caso de Walfisch-Bertoni, a atenuação de propagação é constituída de três componentes:

- Perda no espaço livre (L_0);

- Perda por espalhamento e difração no topo de prédios (L_{rts});
- Perda por difrações e reflexões no nível da rua (L_{ms}).

A perda por espalhamento e difração no topo dos prédios (L_{rts}) é escrita como:

$$L_{rts} = -16,9 - 10\log(w) + 10\log(f + 20\log(\Delta hm)) + L_{ori} \quad (10)$$

$$\text{Para } 0 \leq \varphi < 35^\circ, \quad L_{ori} = -10 + 0,354\varphi \quad (11)$$

$$\text{Para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ, \quad L_{ori} = 2,5 + 0,075(\varphi - 35) \quad (12)$$

$$\text{Para } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \quad L_{ori} = 4 + 0,114(\varphi - 55) \quad (13)$$

Em que w é a largura das ruas [m], f é a frequência [MHz], $\Delta hm = ht - hm$, ht é a altura dos prédios [m], hm é altura da antena da estação móvel [m], d é a distância entre transmissor e receptor [km], φ é o ângulo de incidência [graus], L_{ori} é o fator de correção devido à orientação da rua em função do ângulo de incidência φ [dB];

A perda por difrações e reflexões no nível da rua (L_{ms}) é dada por:

$$L_{ms} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) K_f \log(f) - 9 \log(b) \quad (14)$$

Em que f é a frequência [MHz], d é a distância entre transmissor e receptor [km], b é a distância entre os prédios ao longo do percurso da onda eletromagnética [m]. Os termos L_{bsh} e K_a representam a atenuação no percurso devido a redução da altura da estação transmissora [dB], esses valores são expressados pelas seguintes equações:

$$\text{Para } hb > ht, \quad L_{bsh} = -18 \log(1 + \Delta hb) \quad (15)$$

$$\text{Para } hb \leq ht, \quad L_{bsh} = 0 \quad (16)$$

$$\text{Para } hb > ht, \quad K_a = 54, \quad (17)$$

$$\text{Para } d \geq 0,5 \text{ km e } hb \leq ht, \quad K_a = 54 - 0,8 \Delta hb \quad (18)$$

$$\text{Para } d < 0,5 \text{ km e } hb \leq ht, \quad K_a = 54 - 0,8 \Delta hb \left(\frac{d}{0,5}\right) \quad (19)$$

Em que Δhb é a diferença entre a altura da antena transmissora (hb) [m] e a altura dos prédios (ht) [m]. ($\Delta hb = hb - ht$).

Os termos Kd e Kf estão relacionados com a atenuação devido a difração sobre múltiplos semiplanos considerados no modelo como função da distância e da frequência de operação, respectivamente. Esses termos são definidos como:

$$\text{Para } hb > ht, Kd = 13 \quad (20)$$

$$\text{Para } hb \leq ht, Kd = 18 - 15(\Delta hb/ht) \quad (21)$$

Para cidades de porte médio

$$Kf = -4 + 0,7(f/925 - 1) \quad (22)$$

Para centros metropolitanos

$$Kf = -4 + 1,5(f/925 - 1) \quad (23)$$

3 COBERTURA DO SISTEMA CELULAR

3.1 METODOLOGIA

No início do estudo foi realizada uma análise da cidade de Conselheiro Lafaiete, utilizando o programa de mapeamento geográfico Google Earth (GOOGLE EARTH MAPAS, 2013). Através do programa foi verificado o posicionamento geográfico do local de estudo, com o objetivo de determinar referências para análise e obtenção de dados do local. Logo após, foram identificadas as principais antenas de telefonia celular da região central da cidade através do site da Anatel (ANATEL, 2013).

De posse dessas informações foi escolhida uma estação Transceptora Base (BTS), localizada na região central da cidade de Conselheiro Lafaiete. Os dados do sistema irradiante da estação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1
Dados da estação utilizada

Setores	A	B	C
Longitude	-43,78747	-43,78747	-43,78747
Latitude	-20,66748	-20,66748	-20,66748
Altura (m)	60	60	60
Frequência	890 MHz	890 MHz	890 MHz
Pot. (EIRP)	53 dBm	53 dBm	53 dBm
Azimute	70°	190°	310°
Tilt elétrico	0	0	0
Tilt mecânico	2°	2°	2°
Ganho (dBd)	13	13	13

Foram realizadas medições do nível de sinal RSSI (Received Signal Strength Indicator) na região central da cidade de Conselheiro Lafaiete, utilizando um celular GSM. Os valores de potência do sinal foram obtidos através do modo *Field test* do aparelho. O modo *field test* pode ser habilitado nos celulares GSM e têm entre as finalidades, mostrar a potência recebida em dBm. Os valores de potência de sinal foram obtidos a uma altura de 1,5 metros para a frequência de 890 MHz. Foram realizadas 12 medições em pontos distribuídos aleatoriamente pela região de cobertura da BTS e devidamente localizados por coordenadas geográficas, indicados na Tabela 2.

Tabela 2
Pontos utilizados nas medições em campo

Pontos	Longitude	Latitude	Distância
BTS	-43,78747	-20,66748	-
P1	-43,78679	-20,66083	740 m
P2	-43,78407	-20,66316	600 m
P3	-43,78010	-20,66320	900 m
P4	-43,78262	-20,66619	520 m
P5	-43,77739	-20,66767	1050 m
P6	-43,78103	-20,67139	800 m
P7	-43,78314	-20,67375	830 m
P8	-43,78585	-20,67667	1040 m
P9	-43,79317	-20,67191	770 m
P10	-43,79375	-20,66589	650 m
P11	-43,79369	-20,66791	680 m
P12	-43,78973	-20,66372	480 m

As distâncias dos pontos de medição para a BTS foram obtidas utilizando o *software* Google Earth.

Utilizando o *software* Matlab, os pontos usados anteriormente para medição em campo foram inseridos nas equações dos modelos Okumura-Hata e Walfisch-Ikegami.

Os resultados obtidos computacionalmente foram comparados com os resultados das medições em campo.

A Figura 1 ilustra os locais de medição na cidade de Conselheiro Lafaiete.

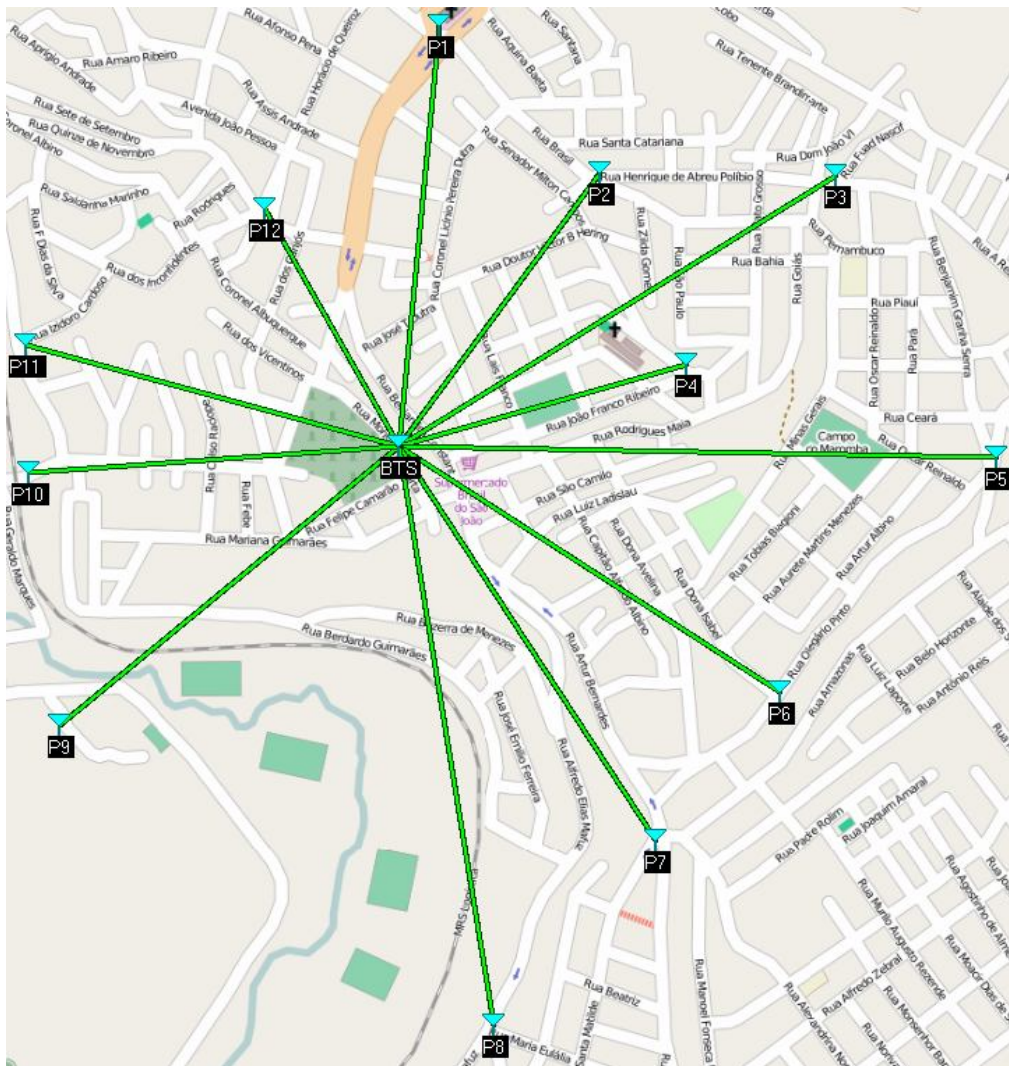


Figura 1 – Mapa com os pontos de medição

3.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os valores de RSSI encontrados nas medições em

campo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3
Resultados das medições em campo

Pontos	Visada direta	RSSI Medido
P1	Sim	-65 dBm
P2	Não	-55 dBm
P3	Não	-75 dBm
P4	Não	-51 dBm
P5	Sim	-71 dBm
P6	Sim	-67 dBm
P7	Não	-71 dBm
P8	Não	-85 dBm
P9	Não	-77 dBm
P10	Sim	-63 dBm
P11	Sim	-65 dBm
P12	Sim	-61 dBm

3.3 CÁLCULOS UTILIZANDO OS MODELOS OKUMURA-HATA E WALFISCH- IKEGAMI

Para os cálculos, foram inseridos nos modelos de propagação várias características dos ambientes de medição, como altura e distância entre prédios, largura média das ruas e o tipo de ambiente de propagação. As alturas dos prédios nos locais de medição foram estimadas pelo número de andares das construções sendo incluídos, também, os telhados, coberturas e caixas d'água e o ganho da antena receptora. No caso a antena do aparelho

celular, foi considerado 0 dB. Os resultados dos cálculos dos modelos semi-empíricos implementados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4
Valores de RSSI calculados e medidos

Pontos	RSSI Okumura-Hata	RSSI Walfisch-Ikegami	RSSI medido
P1	-64,89 dBm	-62,72 dBm	-65 dBm
P2	-61,86 dBm	-56 dBm	-55 dBm
P3	-67,72 dBm	-72,31 dBm	-75 dBm
P4	-59,79 dBm	-55,36 dBm	-51 dBm
P5	-69,95 dBm	-68,39 dBm	-71 dBm
P6	-66,02 dBm	-63,6 dBm	-67 dBm
P7	-66,55 dBm	-65,55 dBm	-71 dBm
P8	-69,87 dBm	-78,3 dBm	-85 dBm
P9	-65,47 dBm	-72,1 dBm	-77 dBm
P10	-63,02 dBm	-61,25 dBm	-63 dBm
P11	-63,67 dBm	-63,59 dBm	-65 dBm
P12	-58,64 dBm	-57,83 dBm	-61 dBm

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE RSSI SIMULADOS E MEDIDOS

Utilizando os dados da Tabela 4 foi construído o gráfico de comparação da Figura 2, relacionando os níveis de RSSI, obtidos nas medições em campo e os níveis de RSSI, obtidos computacionalmente com as distâncias entre o transmissor e o receptor.

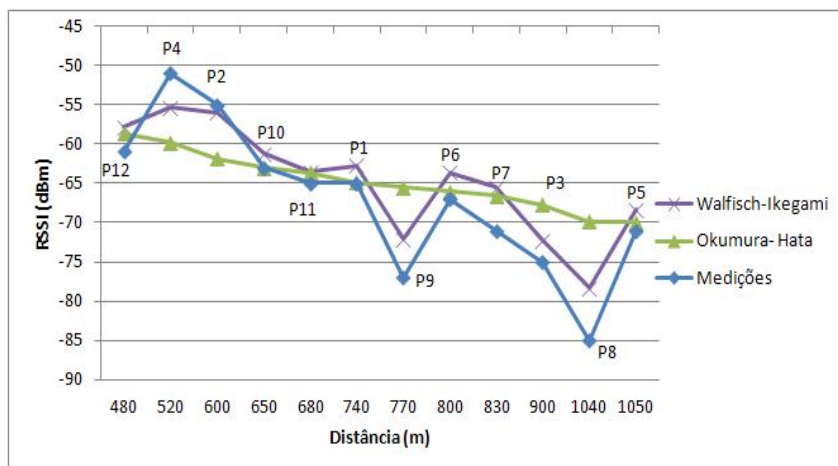


Figura 2 – Comparação entre valores de RSSI medidos e simulados

Conforme a distância entre emissor e receptor aumenta é esperado a diminuição no nível do sinal, que pode ser comprovado observando a tendência das curvas apresentadas na Figura 2. Porém, alguns pontos não seguem a tendência esperada, esse comportamento é ocasionado principalmente pela presença de obstáculos entre as antenas. Os modelos implementados no *software* Matlab possuem métodos de cálculos distintos; o modelo Okumura-Hata leva em

consideração somente o tipo de ambiente de propagação, as alturas das antenas, a frequência e a distância entre emissor e receptor. Desse modo os resultados para esse modelo não foram satisfatórios, quando comparados com os valores obtidos em campo, principalmente em ambientes onde não havia visada direta para a antena transmissora. A Figura 3 mostra os erros referentes aos modelos implementados em função das medições.

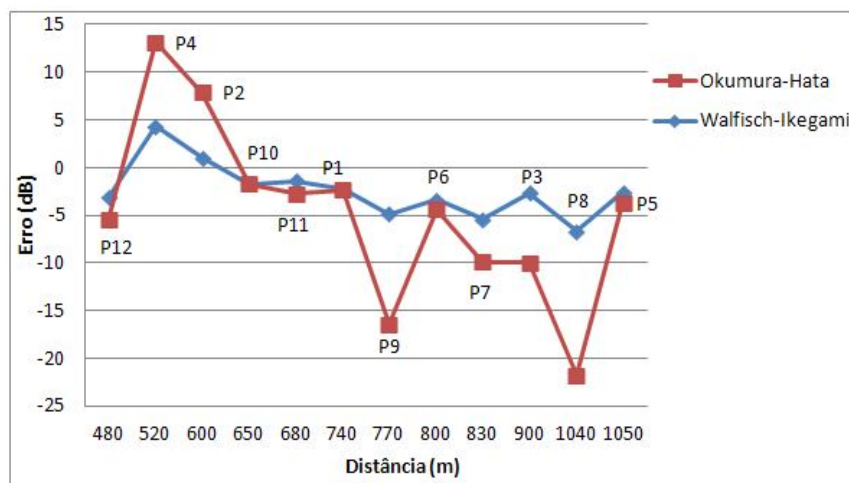


Figura 3 – Comparação entre erros dos modelos utilizados

O modelo Walfisch-Ikegami além de trabalhar com as variáveis do modelo Okumura- Hata, também leva em consideração a morfologia detalhada do terreno, como altura de prédios, distância entre prédios e largura média das ruas. Dessa forma os resultados apresentados por este modelo se aproximaram mais dos valores obtidos em campo, tanto para ambientes com linha de visada como para ambientes com obstruções, conforme pode ser observado na Figura 2, onde a curva obtida pelo modelo Walfisch-Ikegami segue a mesma tendência da curva obtida pelos valores de RSSI, medidos em campo. Na Figura 3 pode-se observar que o erro entre os valores medidos e simulados é menor para o modelo Walfisch-Ikegami.

4 CONCLUSÕES

A predição é de extrema importância para a obtenção de aproximações dos níveis de sinais em áreas de interesse, quanto melhor os modelos de propagação aplicados, melhores são essas aproximações. Não é possível afirmar com certeza qual será o nível de um determinado sinal em uma região, mesmo conhecendo os dispositivos que integram a parte física do enlace.

No estudo de predição celular realizado, a comparação dos resultados obtidos nas medições em campo com os resultados obtidos, utilizando os modelos semi-empíricos, validaram os modelos de

propagação utilizados. Além disso, através dos resultados foi possível observar as diferenças na utilização de modelos com métodos de cálculos distintos de forma a escolher o melhor modelo para a

obtenção de resultados mais próximos dos valores reais obtidos em campo.

REFERÊNCIAS

ANATEL. **Sítio da Agência Nacional de Telecomunicações.** Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>. Consulta realizada em 17/01/2013.

CONSELHEIRO LAFAIETE. **Prefeitura municipal de Conselheiro Lafaiete.** Disponível em: <http://www.conselheirolafaiete.mg.gov.br>. Consulta realizada em 01/08/2013.

GOOGLE EARTH MAPAS. **Visualização de fotos, mapas e rotas.** Disponível em: <http://www.mapas.google.com>. Consulta realizada em 15/01/2013.

IKEGAMI, F.; YOSHIDA, S. **Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments.** IEEE Trans. Antennas Propagat., 1980.

MIYOSHI, E.M.; SANCHES, C.A. **Projetos de sistemas rádio.** 4ª Ed., Érica, 2008.

OKUMURA, Y.; OHMORI, E; KAWANO, T; FUKUDA, K. **Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service.** Review Electrical Communication Laboratory, 1968.

PEREIRA, M. A. B. **Análise de modelos de propagação na área urbana da região de Curitiba – PR na faixa de frequência de 1800 MHz.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

RAPPAPORT, Theodore S. **Wireless communications.** Englewood Cliffs, Prentice Hall, 2ª Ed. 2002.

WALFISH, J.; BERTONI, H. L. **A theoretical model of UHF propagation in urban environments.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP 36, 12, 1988.

YACOUB, M. D., **Foundations of mobile radio engineering.** 1ª Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1993.